

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA
OSTRAVA**

Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství

Katedra ochrany životního prostředí v průmyslu



Souhrn disertační práce

**SYSTÉM PRO HODNOCENÍ STAVU ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
POMOCÍ MATEMATICKÉHO MODELOVÁNÍ PRO OBLASTI
ZATÍŽENÉ METALURGICKÝM PRŮMYSEM**

Doktorand: RNDr. Jan Bitta

Školitel: Doc. Ing. Petr Jančík, PhD.

Ostrava, květen 2012

Forma doktorského studia: distanční

Oponenti:

prof. RNDr. Milada Kozubková, CSc.

VŠB – Technická univerzita Ostrava,

17.listopadu 15,

708 33 Ostrava – Poruba

doc. Ing. Daniela Ďurčanská, CSc.

Žilinská univerzita v Žilině,

Univerzitná 1,

010 26 Žilina,

SLOVENSKÁ REPUBLIKA

doc. Ing. Jozef Mačala, CSc.

Vysoká škola bezpečnostného manažérstva v Košiciach,

Kukučínova 17,

040 01 Košice

SLOVENSKÁ REPUBLIKA

Obhajoba:

Obhajoba disertační práce se koná dne 12.7.2012 od 11:00 hodin v zasedací místnosti (A216) Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 17.listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba.

S textem disertační práce je možno se seznámit na studijním oddělení FMMI (místnost A136), 17.listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba.

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1. | ÚVOD | 5 |
| 2. | HODNOCENÍ KVALITY OVZDUŠÍ..... | 7 |
| 2.1. | PŘÍPRAVA VSTUPNÍCH DAT | 9 |
| 2.2. | POSTUP MODELOVÁNÍ | 12 |
| 2.3. | ANALÝZY VÝSLEDKŮ | 14 |
| 2.4. | AUTOMATIZOVANÉ GENEROVÁNÍ MAPOVÝCH VÝSTUPŮ..... | 16 |
| 2.5. | MODELOVÁNÍ SITUACÍ S VYSOKÝMI IMISEMI..... | 17 |
| 2.6. | DALŠÍ VÝVOJ MODELOVACÍHO SYSTÉMU..... | 19 |
| 3. | ZÁVĚR..... | 20 |
| 4. | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY | 22 |

1. Úvod

Hutní průmysl je jedním z nejvýznamnějších původců emisí znečišťujících látek do ovzduší. S přítomností hutního průmyslu navíc úzce souvisí existence dalších průmyslových technologií (chemický průmysl, strojírenství, apod.), vysoká hustota osídlení a s ní související průmyslové emise – teplárny, elektrárny, apod. a neprůmyslové emise – doprava, lokální topeniště, apod.

Typickým příkladem této lokality je průmyslový region Ostravsko-karvinské aglomerace, který tvoří společně s přilehlým polským územím průmyslový region Horního Slezska, jeden z nejprůmyslovějších regionů Evropy. Zásoby kvalitního černého uhlí, dostatek vodních zdrojů a tradiční obchodní trasy skrz region, zdůrazněné následným spojením s okolními regiony pomocí železnice, umožnilo koncem 18. a především v 19. a 20. století vznik a rozvoj průmyslu, především těžby uhlí, hutnictví železa a strojírenství. V návaznosti na rozvoj průmyslu se díky pracovním příležitostem vysoce zvyšovala rovněž hustota osídlení. V důsledku toho je Ostravsko-karvinská aglomerace jednou z nejhustěji osídlených oblastí v ČR.

V hustě osídlených oblastech, které jsou zároveň postižené vysokými koncentracemi znečišťujících látek v ovzduší, je nutné tento nepříznivý stav řešit. Pro přijetí jakýchkoli opatření vedoucích k nápravě nepříznivého stavu, která jsou často finančně náročná, je vhodné, aby rozhodnutí předcházelo realistické posouzení vlivu jednotlivých zdrojů a skupin zdrojů na kvalitu ovzduší a vyhodnocení skutečného vlivu plánovaných opatření na koncentrace znečišťujících látek v ovzduší.

Vhodnou metodou, která tyto vyhodnocení umožňuje je matematické modelování rozptylu znečišťujících látek v ovzduší. Aby bylo možné realisticky posoudit stav ovzduší v zatížených lokalitách a původce zvýšených koncentrací znečišťujících látek pomocí matematického modelování, je nutné v takových oblastech zahrnout do výpočtu svým charakterem různorodé kategorie zdrojů znečišťování ovzduší, zdroje průmyslové i neprůmyslové, zdroje svým vlivem významné lokálně i zdroje významně ovlivňující rozsáhlé oblasti. Je tudíž nutné provádět výpočet detailně, aby bylo možné postihnout zdroje lokálního dosahu, a zároveň modelovat v rozsáhlém území, aby bylo možné postihnout vliv zdrojů ovlivňujících velká území.

Díky kombinaci těchto dvou faktorů a velkému množství zdrojů znečišťování ovzduší v hustě osídleném průmyslovém regionu je matematické modelování rozptylu znečišťujících látek v ovzduší velice náročné na přípravu dat pro modelování a na výpočetní čas.

Cílem práce je vyvinout a prakticky odzkoušet modelovací systémy pro hodnocení stavu ovzduší v obou, z hlediska ochrany kvality ovzduší, nejdůležitějších případech – pro krátkodobé extrémně vysoké koncentrace znečišťujících látek v ovzduší a pro nadlimitní dlouhodobé (roční) koncentrace znečišťujících látek v ovzduší. Tyto modelovací systémy by měli především v co nejvyšší míře automatizovat proces přípravy vstupních dat pro modelování, vytvořit nástroje pro analýzu výsledků modelování a především zrychlit a zautomatizovat proces modelování tak, aby bylo možné zkrátit proces modelování u nejsložitějších výpočtů z řádově dnů až týdnů na jednotky hodin.

Tyto systémy budou založeny na postupech a poznatcích, které již byly získávány při pracích hodnotících kvalitu ovzduší na pracovišti autora, tj. Laboratoře geografických informačních systémů katedry Ochrany životního prostředí v průmyslu, Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství, Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava. Jedná se především o využití synergie kombinace matematických modelů a geografických informačních systémů, které jsou využívány jako vynikající prostředek pro zpracování, uchovávání, analýzu a prezentování prostorových vstupních dat a výsledků modelování. Tyto postupy a poznatky byly mimo jiné publikovány v práci (1), na jejíž výsledky tato práce navazuje a dále je rozvíjí.

Důvodem vývoje takovýchto systémů byla potřeba modelovat rozptyl znečišťujících látek v rozsáhlých hustě osídlených oblastech. Toto modelování bylo klíčovou součástí analýz hodnotících kvalitu ovzduší a původce znečištění v ovzduší. Matematické modelování lze navíc rovněž využít jako nástroj predikující vliv změn na úrovni vstupních parametrů modelování (parametry zdrojů, meteorologické podmínky, apod.) na kvalitu ovzduší ve sledované lokalitě. Tato možnost dělá z matematického modelování rozptylu znečišťujících látek v ovzduší účinný nástroj pro podporu rozhodování pro řízení kvality ovzduší a územní plánování.

2. Hodnocení kvality ovzduší

Podle Listiny základních lidských práv a svobod (2), která je součástí Ústavy ČR, má každý právo na čisté životní prostředí a na informace o jeho stavu. Ochranu čistoty ovzduší dále v české legislativě řeší zákon č. 86/2001 Sb., který určuje existenci limitů koncentrací pro vybrané znečišťující látky a vyžaduje jejich dodržování (3). Překračování imisních limitů je tudíž nezákonné. Z těchto důvodů je nutné znát stav ovzduší na území státu, vymezit oblasti, kde jsou imisní limity překračovány, a určit příčiny tohoto stavu.

Pro hodnocení stavu ovzduší jsou používány dva základní postupy – měření koncentrací a modelování rozptylu znečišťujících látek. Každá z těchto metod má své výhody i nevýhody. Měření určí standardizovaným způsobem hodnoty imisí, jaké ve skutečnosti jsou. Tato měření ovšem popisují kvalitu ovzduší pouze v místech měření a jsou nákladná, proto je síť měřících stanic řídká a v některých oblastech zcela chybí. Měření rovněž neumožňují predikovat vliv možných opatření na koncentrace znečišťujících látek. Matematické modelování je postup levnější, který umožňuje postihnout plošné rozložení imisí ve sledovaném území a vyhodnotit vliv různých možných opatření na kvalitu ovzduší. Jeho zásadní nevýhodou je to, že vypočtené hodnoty nemusí odpovídat reálnému stavu.

V této práci budou dále popsány dvě praktické realizace matematického modelování, které budou popsány v následujících samostatných kapitolách. Jedná se o využití matematického modelování pro hodnocení dlouhodobých koncentrací znečišťujících látek v ovzduší a o modelování krátkodobých situací, při kterých dochází k extrémně vysokým koncentracím znečišťujících látek v ovzduší.

Pro hodnocení dlouhodobého stavu ovzduší v zatížených lokalitách je nutné dobře postihnout všechny zdroje znečišťování ovzduší, které ve studované oblasti mají vliv na kvalitu ovzduší. Tyto zdroje mohou svým vlivem pouze lokálně významné (automobilová doprava, lokální topeniště) nebo také významně ovlivňovat rozsáhlé oblasti (energetika nebo jiné průmyslové technologie). Proto je nutné modelované oblasti stanovit tak, aby postihly dostatečně široké okolí významných zdrojů, a zároveň modelovat s dostatečnou mírou detailnosti, aby byl dostatečně detailně podchycen vliv zdrojů lokálního významu. Typickými postiženými lokalitami jsou obvykle hustě osídlené oblasti, ve kterých se nachází velké množství zdrojů znečišťování ovzduší různého charakteru.

Posouzení kvality ovzduší je typicky nutné provádět v rozsáhlé oblasti, která je ovlivňována velkým množstvím zdrojů znečišťování ovzduší různého charakteru, a modelování

je nutné provádět velice detailně. Jako při každém rozsáhlejší modelování, je nutné řešit čtyři základní oblasti závažných komplikací:

- Příprava, management, interpretace, vizualizace a analýza vstupních a výstupních dat matematického modelování;
- nestabilita operačního systému během výpočtů;
- časová náročnost výpočtů;
- automatizace, opakovatelnost a dokumentace postupu.

Jakýkoliv postup nebo výpočetní systém se musí těmito okruhy zabývat a řešit je. Jedním z cílů disertační práce bylo vytvoření takového systému pro modelování rozptylu znečišťujících látek v ovzduší, který by vhodným způsobem řešil všechny výše zmíněné problémy tak, aby výpočty v něm prováděné byly co nejefektivnější. Postup vycházel ze zkušeností z práce (1), kde je pro řešení tohoto typu úloh prokázána účinnost propojení matematického modelování a GIS.

Vzhledem k tomu, že prakticky veškerá vstupní i výstupní data mají charakter prostorových dat, je velice výhodné pro nakládání se vstupními i výstupními daty modelování používat GIS. V práci byly využity software pro GIS ArcView 3.2 a ArcGIS 8.0 a vyšší pro vizualizaci prostorových dat a pro manipulace s daty vyžadující grafické uživatelské rozhraní. Pro automatizované provádění standardních kroků modelování byl využit software ArcInfo for Workstation 8.0 a vyšší.

Nestabilita operačního systému během výpočtů je způsobena dlouhodobým stoprocentním zatížením procesoru počítače. Běžná PC s operačním systémem Windows nejsou pro tyto situace uzpůsobena a mohou být v těchto situacích nestabilní. Vhodnějším výpočetním prostředkem jsou speciální počítače – pracovní stanice a paralelní clustery, které využívají operační systémy odvozené od systému Unix, kde tento problém nenastává. Tyto operační systémy navíc nepotřebují pro svůj provoz grafické uživatelské rozhraní (GUI) a je možné je v nich pracovat z příkazové řádky, což při výpočtech znamená efektivnější využití procesorového výkonu, protože systémové nároky na výpočetní čas procesoru jsou v tomto případě podstatně nižší. Navíc výpočty neblokují výpočetní výkon PC, která jsou určena i pro jiné úkoly než jen modelování.

Časová náročnost výpočtů při matematickém modelování rozptylu znečišťujících látek v ovzduší je i přes relativní jednoduchost použitého modelu SYMOS'97 značná. Řešením

tohoto problému je rozdělení každé výpočetní úlohy více menších podúloh, které jsou poté počítány současně na více uzlech paralelního clusteru.

Automatizace postupu ve všech fázích modelování je realizována pomocí skriptovacího jazyka AML (ArcInfo Macro Language) ve formě skriptů, které automatizovaně provádějí jednotlivé kroky modelování. Celý proces modelování je rozdělen do co nejmenších logických částí a pro každou část je vytvořen zvláštní skript. To umožňuje průběžně sledovat výsledky jednotlivých kroků modelování a v některých případech si lze vybrat z více variant skriptů (např. při tvorbě receptorů). Opakovatelnost a dokumentace postupu jsou zaručeny záznamem posloupnosti příkazů při modelování do zvláštního textového souboru, ze kterého jsou podle potřeby kopírovány na příkazovou řádku terminálu a tím spuštěny. Je tedy patrné, že takto je možné uchovat celý postup, kdykoli jej snadno zopakovat a relativně snadno v něm nalézt chybu v postupu.

Výsledkem prací byl modelovací systém, který byl pojmenován ADMoSS, a byl již použit v přibližně desítkách projektů hodnotících kvalitu ovzduší v rozsáhlých oblastech (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12). Na těchto projektech byla ověřena efektivita níže popsaného postupu. Proces modelování bude popsán v několika logických krocích, které na sebe postupně navazují. Obecný postup modelování je znázorněn na následujícím schématu.

2.1. Příprava vstupních dat

Vstupní data pro modelování jsou připravována převážně v prostředí software pro GIS (ArcInfo for Workstation, ArcView 3.2). Vstupní údaje jsou do matematického modelu vkládány ve formě textových souborů ve standardním tvaru. Pro samotné modelování je potřeba připravit tato data:

- Data o tvaru terénu;
- meteorologická data;
- data o zdrojích znečišťování ovzduší;
- data o referenčních bodech (receptorech).

Pro modelování metodikou SYMOS'97 je nutno zadat tvar reliéfu celé modelované oblasti. Základním zdrojem dat o tvaru terénu jsou zde základní mapová díla. Na území ČR se jedná zejména o -digitální vrstevnice z DMÚ25 (1:25 000, VTOPÚ Dobruška, © Armáda ČR),

digitální vrstevnice ze ZABAGED (1:10 000, © ČÚZK), digitální model terénu z ArcČR200 (1:200 000, © ArcData Praha) nebo jiná výškopisná data.

Meteorologická data se do modelu SYMOS'97 zadávají ve formě Stabilitní větrné růžice. To jsou statisticky zpracované údaje o relevantních meteorologických jevech (směr větru, rychlost větru, teplotní stabilita ovzduší). Hodnoty ve stabilitní větrné růžici popisují procentuální pravděpodobnost meteorologické situace určené směrem větru (8 směrů + neustálený), třídou rychlosti větru (3 třídy) a třídou stability ovzduší (5 tříd).

Antropogenní zdroje znečišťování ovzduší je možné rozdělit podle způsobu pořízení a zpracování dat do tří základních kategorií:

- Průmyslové zdroje;
- lokální topeniště;
- automobilová doprava.

Data o každé z těchto kategorií zdrojů jsou uchovávána jiným způsobem, proto je také nutné zpracovávat každou tuto kategorii specifickým způsobem.

Průmyslové zdroje

Data o průmyslových zdrojích znečišťování ovzduší jsou dostupná v digitální podobě ve formě výstupů z relačních databází (databáze REZZO1 – zvláště velké a velké zdroje, REZZO2 – střední zdroje a REZZO3 – malé zdroje). Správcem těchto databází je ČHMÚ, který tuto databázi vytváří na základě dat poskytnutých orgány státní správy pověřených řízením těchto zdrojů. U zvláště velkých a velkých zdrojů se jedná o krajské úřady a u středních a malých zdrojů o obce s rozšířenou působností. Databáze těchto úřadů mohou sloužit jako alternativní zdroj dat o průmyslových zdrojích. Data o průmyslových zdrojích jsou dodávána ve formě tabulky exportované z příslušné relační databáze, ve kterých jsou uložena všechna data potřebná pro modelování rozptylu znečišťujících látek z této skupiny zdrojů.

Automatizovaně lze určit polohu zdrojů pouze přibližně z jiných dat obsažených v databázi. Jedná se především o číslo katastrálního území a adresu provozovny. Přibližná lokalizace pomocí těchto atributů se může v případě velkých průmyslových komplexů lišit od skutečné polohy zdrojů až o kilometry. Nutným dalším krokem je tedy při přípravě zdrojů dodatečná lokalizace zdrojů. Dodatečná lokalizace zdrojů je možná v zásadě dvojím způsobem -určování polohy zdrojů v prostředí GIS pomocí digitálně zpracovaných leteckých

snímků (ortofotomapa) nebo místním šetřením se zákresem zdroje do mapy nebo odečtením polohy zdroje pomocí GPS.

Lokální topeniště

Lokální topeniště jsou energetické zdroje určené pro lokální vytápění prostor k individuálnímu bydlení (rodinné domy a byty). Tvoří významnou skupinu zdrojů znečišťování ovzduší s ohledem na jejich velké množství, umístění přímo v obytné zástavbě, relativně nízké komíny, tepelné výkony, použitá paliva a nižší kvalitu spalovacích zařízení.

Provozovatelům lokálních topenišť zákon neukládá oznamovací povinnost. Jediná povinnost, která pro ně ze zákona vyplývá, je provozovat zdroje znečišťování ovzduší v souladu s podmínkami pro provoz těchto zařízení. Provozovatelé lokálních topenišť nemají povinnost oznamovat druh a spotřebu paliva, proto neexistuje žádná ucelená databáze s těmito údaji, ani informace o umístění těchto topenišť. Vzhledem k významnosti těchto zdrojů byla při pracích na (4) a (13) vyvinuta metodika pro analýzu jejich rozložení v zástavbě, pro výpočet jejich emisí a pro jejich reprezentaci pomocí sítě plošných zdrojů vycházející z údajů se Sčítání lidí domů a bytů (SLBD). V rámci většího území totiž nelze komíny lokálních topenišť lokalizovat přímo, neboť jich jsou tisíce až desetitisíce a nejsou o jednotlivých komínech k dispozici žádná data. Proces přípravy plošných zdrojů se skládá z několika kroků:

- Analýza rozložení lokálních topenišť;
- výpočet emisí z lokálních topenišť;
- reprezentace lokálních topenišť plošnými zdroji;

Automobilová doprava

Zejména ve městech je významným zdrojem znečišťování ovzduší automobilová doprava. Stanovení emisí z těchto mobilních zdrojů spočívá především ve vyhodnocování údajů o množství emisí z automobilové dopravy a její struktuře a intenzitě. Tyto údaje lze získat z různých zdrojů, především z pravidelného sčítání dopravy (poslední z roku 2010), které provádí Ředitelství silnic a dálnic ČR, a různých dopravních studií a analýz.

Emise z vozidel se zjišťují měřením nebo se stanovují výpočtem pomocí emisních faktorů. V dopravě se emisní faktor [$\text{g.km}^{-1}.\text{vozidlo}^{-1}$] vyjadřuje jako veličina udávající, jaké množství znečišťující látky zanechá jedno projíždějící vozidlo v ovzduší, ujede-li 1 km. Zdrojem údajů o emisních faktorech jsou výsledky Ústavu pro výzkum motorových vozidel zveřejněné

v metodice MEFA (14). Jejich hodnota pro určitý rok závisí na technickém a legislativním vývoji v oblasti silniční dopravy a na kategorii vozidla.

Pro účely modelování je vhodné rozdělit modelované komunikace na kratší úseky, které pak plní funkci liniových zdrojů. Jako optimální se ukázala být délka úseků v rozmezí 50 – 100 metrů.

2.2. Postup modelování

Pravděpodobně, nejzávažnějším limitujícím faktorem při modelování rozptylu znečišťujících látek do ovzduší je jeho výpočetní náročnost. Úspěšně aplikovaným řešením tohoto problému se ukázalo být rozdělení výpočetních úloh na větší množství menších, jednodušších podúloh, které jsou poté počítány současně na více procesorech paralelního clusteru.

Rozdělení výpočetních úloh

Používaným matematickým model SYMOS'97 je model typu “zdroj - receptor” neboli výpočet koncentrací znečišťující látky je určován ze zadané množiny zdrojů a vypočítáván v definované sadě referenčních bodů, tzv. receptorů. Samotný výpočet probíhá tak, že pro každou dvojici zdroj – receptor je spočten příspěvek znečištění z vybraného zdroje v místě, kde se nachází vybraný receptor. Celkové znečištění v místě receptoru potom odpovídá součtu příspěvků jednotlivých zdrojů.

Při dělení zdrojů byly testovány různé možnosti dělení a jako nejefektivnější byla vyhodnoceno prostorové dělení zdrojů, kdy jsou zdroje rozděleny do skupin podle své polohy. V prostředí GIS, kde se celý proces přípravy dat pro modelování odehrává, je toto dělení realizováno pomocí polygonové vrstvy pokrývající celou oblast výskytu zdrojů.

Při modelování v rozsáhlých oblastech může docházet k výrazným změnám charakteru terénu a důsledkem toho i k odlišným směrům a intenzitám větru a tedy i k odlišným meteorologickým charakteristikám v různých částech modelovaného území. Oblast zájmu lze rozdělit na polygonovou vrstvu meteorologicky shodných oblastí, kterým jsou přiděleny vlastní specifické stabilitní větrné růžice.

Volba sítě receptorů

Prostorové dělení zdrojů umožňuje navíc zefektivnit modelovací proces pomocí volby receptorů. Pro střední, malé a mobilní zdroje znečišťování ovzduší je charakteristický pouze lokální vliv. To znamená, že k významným změnám koncentrací znečišťujících látek dochází

pouze v blízkosti zdrojů. Tato vlastnost společně s prostorovým dělením zdrojů umožňuje vytvořit pro každý zdroj vlastní sadu receptorů.

Pro každou sadu receptorů je vytvořena síť receptorů skládající se ze dvou částí. První část, která zahrnuje obalovou zónu okolo zdrojů, je tvořena pravidelnou hustou sítí receptorů. Druhá část je tvořena pravidelnou řídkou sítí receptorů, pokrývajících zbytek zájmového území vně obalové zóny.

Srovná-li se tento postup s běžně užívaným postupem, kdy je celá výpočetní oblast pokryta hustou sítí receptorů, je patrné že tento postup je při stejné míře požadované detailnosti výsledků podstatně méně náročný na množství receptorů a tím také i méně náročný na výpočetní čas. Efektivita tohoto postupu je patrná v následujícím srovnání na reálném příkladu modelování rozložení koncentrací imisí.

Tab. 1: Srovnání náročnosti výpočtů

| | Modelovány všechny zdroje společně s pravidelnou sítí receptorů | Zdroje jsou rozděleny a každý díl zdrojů má vlastní dvoudílnou síť receptorů | |
|------------------------------------|---|--|--------|
| Výpočetní oblast | Obdélník 15 x 18 km | Obdélník 15 x 18 km | |
| Délka liniových zdrojů | ≤ 50 m | ≤ 50 m | |
| Počet zdrojů | 4154 | 4154 | |
| Počet dílů | 1 | 91 | |
| Krok sítě (sítí) receptorů | 100 m | Hustá část sítě | 100 m |
| | | Řídká část sítě | 1000 m |
| Průměrný počet receptorů | 27 331 | 1390,5 | |
| Počet dvojic zdroj – receptor | 113 532 974 | 6 787 528 | |
| Počet vyhodnocení Suttonovy funkce | $\approx 4 \cdot 10^{12}$ | $\approx 2 \cdot 10^{11}$ | |
| Počet výpočetních uzlů | 1 | 64 | |
| Časová náročnost | týdny | méně než hodina | |

2.2.1. Modelování na paralelním superpočítači

Po výše popsaném postupu jsou již připravena veškerá data pro modelování všech dílčích podúloh a jsou připravena ve formě vstupních textových souborů vzniklých exportem z prostorových dat. Pro samotný výpočet je následně nutné sestavení seznamu výpočetních úloh. Jako výpočetní úloha je zde chápána unikátní kombinace dat o zdrojích, dat o receptorech, dat o stabilitní větrné růžici a dat o terénu. Výpočet na paralelním clusteru se skládá z těchto kroků:

- Generování spouštěcích skriptů úloh a jejich seznamu;
- dávkové spuštění výpočtů;
- zpracování výsledků.

Výpočty jsou na clusteru zařazeny do fronty úloh a počítány paralelně na všech volných uzlech. Průběh výpočtů lze sledovat pomocí webového rozhraní nebo pomocí skriptu vypisujícího seznam již vypočtených úloh, stav aktuálně počítaných úloh a počty spočtených úloh, počítaných úloh a úloh ve frontě.

Zpracování výsledků probíhá tak, že výsledek každé podúlohy je převeden na bodovou vrstvu, kde poloha bodů odpovídá poloze receptorů, mající v atributové tabulce hodnoty spočtených imisí. Následně je po částech po částech lineární interpolací vytvořen digitální rastr (formát ESRI Grid) se zvoleným krokem (obvykle 10 nebo 20 m) pokrývajícím celou modelovanou oblast. Součtem takto zpracovaných výsledků podúloh vznikne celkový výsledek.

2.3. Analýzy výsledků

Jednou z největších výhod využití GIS při matematickém modelování je možnost využití jejich analytických nástrojů. Tyto nástroje poskytují širokou škálu možností studia a analýz výsledků.

Korekce výsledků modelování

Další výhodou reprezentace výsledků ve formátu prostorových dat je možnost snadné korekce výsledků modelování. Pro korekce výsledků modelování jsou v tomto případě dobře využitelné výsledky měření *in situ*, typicky jsou to data pocházející z imisního monitoringu.

Při řešení projektů hodnotících celkovou imisní zátěž v rozsáhlých oblastech (4), (5) byly srovnávány výsledky modelování a měření imisí. Důsledkem tohoto srovnání bylo zjištění, že

výsledky modelování pomocí metodiky SYMOS'97 neodpovídají měřením. Tato skutečnost způsobena dvěma hlavními okolnostmi:

- Modelování nezohledňuje všechny významné zdroje znečišťování ovzduší;
- výsledky modelování získané výpočtem pomocí metodiky SYMOS'97 jsou **podhodnoceny**.

Mezi nezohledněné zdroje patří především zdroje přírodního původu, zdroje související nepřímo s lidskou činností (sekundární polutanty, zvířený prach, apod.) a také obtížně zachytitelné zdroje (dálkový a přeshraniční přenos, stavební činnost, zemědělská technika, apod.). Všechny tyto skutečnosti je možné zpracovat do modelu ve formě hodnoty „pozadí“ (obvykle konstantní nebo lineární), která je přičtena k celkovým výsledkům modelování. Hodnoty „pozadí“ jsou obvykle odhadnuty podle hodnot imisí na pozadových stanicích, odpovídajících studované oblasti. Ani po tomto navýšení výsledků modelování nedochází ke shodě mezi výsledky modelování a měřeními v terénu.

$$[imise_upravené] = [koeficient_podhodnocení] * [imise_modelované] + [pozadí]$$

V případě existence více měřicích míst ve sledované oblasti, je koeficient možné určit například jako aritmetický průměr koeficientů jednotlivých měřicích míst nebo odhadnout „plošné rozložení“ koeficientu pomocí interpolace mezi měřicími místy.

Převaha a procentuální vliv skupin zdrojů

Velice efektivním analytickým nástrojem GIS jsou při analýze výsledků matematické (aritmetické) operace s rastrovými daty. Takto lze velice jednoduše u výsledků modelování určit převahu vybrané skupiny zdrojů nebo podrobněji například procentuální zastoupení jednotlivých skupin zdrojů v celkových imisích.

Tímto způsobem je možné určit v oblastech se zhoršenou kvalitou ovzduší původce tohoto stavu a zároveň procentuálně vyčíslit míru jejich vlivu. To umožňuje soustředit pozornost při dalších analýzách na nejvýznamnější znečišťovatele. Jako příklad lze uvést výsledek zobrazený na následující mapové kompozici.

Hodnocení imisní zátěže obyvatelstva

Postupem, který již více využívá možnosti analytických nástrojů GIS při analýze výsledků modelování, je hodnocení imisní zátěže obyvatelstva ve studované lokalitě. Tento postup kombinuje data o hustotě osídlení s výsledky modelování. Data o hustotě osídlení lze získat například ve formě počtu obyvatel bydlících na jednotlivých adresách.

Tab. 2: Zatížení obyvatelstva imisemi PM₁₀ na území Kopřivnice v roce 2003, zdroj (7)

| Místní část | Počet obyvatel Celkem | PM ₁₀ <35-40> [µg/m ³] | PM ₁₀ <40-45> [µg/m ³] | PM ₁₀ <45-50> [µg/m ³] | PM ₁₀ <50-60> [µg/m ³] | PM ₁₀ nad 60 [µg/m ³] |
|---------------|-----------------------|---|---|---|---|--|
| Lubina | 1391 | 0 | 883 | 398 | 64 | 46 |
| Kopřivnice | 21160 | 178 | 9984 | 9070 | 1928 | 0 |
| Mniší | 661 | 113 | 548 | 0 | 0 | 0 |
| Vlčovice | 535 | 59 | 469 | 7 | 0 | 0 |
| CELKEM | 23747 | 350 | 11884 | 9475 | 1992 | 46 |

Červeně jsou zvýrazněny nadlimitní hodnoty imisí.

Sledování emisně – imisních vztahů

Jednou z největších výhod matematického modelování je možnost studia vlivu různých variant možných opatření v oblasti emisí na celkovou imisní situaci („co by kdyby“). Větší používání tohoto postupu je často komplikováno složitostí přípravy vstupních dat, časovou náročností modelu a obtížemi při srovnávání výsledků. V ADMoSS jsou ovšem tyto komplikace odstraněny nebo alespoň významně omezeny. Z tohoto důvodu je možné velice efektivně sledovat a relativně přesně vyčíslit efekt různých opatření na kvalitu ovzduší. Jako příklady tohoto druhu analýz budou uvedeny:

- Vyhodnocení vlivu změny struktury paliv v lokálních topeništích;
- vyhodnocení vlivu nových silnic na kvalitu ovzduší;
- určení lokálních emisních stropů pro průmyslové zdroje.

2.4. Automatizované generování mapových výstupů

Při publikování výsledků modelování z rozsáhlejších projektů je nutné vytvářet desítky až stovky velice podobných mapových kompozic. Jejich značné množství činí jejich tvorbu velice časově náročnou a únavnou, proto je zde také vysoké riziko vzniku chyb. Z tohoto důvodu byl proces vytváření mapových kompozic realizován celý v prostředí ArcInfo, konkrétně díky jeho modulu ArcPlot. Výsledkem tohoto úsilí je sada skriptů, pomocí kterých lze automatizovaně generovat mapové kompozice.

Tvorba mapové kompozice byla rozdělena na jednotlivé samostatné kroky, které jsou realizovány samostatně pomocí vlastního skriptu. Tvorba mapové kompozice se následně skládá z postupného spouštění těchto skriptů.

Výhody automatického generování

Zkušenosti s tímto postupem ukázali několik výhod popsaného postupu v porovnání s ruční tvorbou mapových kompozic. Hlavní je časová úspora při tvorbě velkého počtu podobných mapových kompozic. Vytvoření první, vzorové mapové kompozice je sice mírně pomalejší, ale následné vytváření dalších mapových kompozic je již rychlé a snadné. Podstatně a výrazně rychlejší je tvorba mapových kompozic při následných modifikacích již hotových obrázků, kdy se změnily výsledky modelování, použité mapové prvky nebo způsob jejich zobrazování. To je realizováno prostou jednoduchou úpravou vstupních parametrů a opakováním zaznamenaného postupu.

S tím souvisí i opakovatelnost postupu, který je pro každou mapovou kompozici zaznamenáván a může být kdykoli opět spuštěn znovu. Navíc je zde mnohem nižší podíl lidské práce a tudíž i mnohem nižší riziko lidské chyby.

2.5. Modelování situací s vysokými imisemi

Během teplotních inverzí je silně omezeno promíchávání vzduchu a tím zhoršují podmínky pro prostorový rozptyl atmosférických znečišťujících látek. Z tohoto důvodu dochází při teplotních inverzích k nejvyšším koncentracím znečišťujících látek v ovzduší. Nejhoršími situacemi z hlediska rozptylu jsou mohutné zimní teplotní inverze, kdy jsou inverzně zvrstvenou částí atmosféry zachycovány emise i z relativně vysokých zdrojů. Podobně závažným případem jsou teplotní inverze nacházející se v malé výšce nad zemským povrchem. Tyto teplotně inverzní vrstvy atmosféry fungují jako zadržující vrstva a zplodiny pocházející z přízemních zdrojů se pod ní akumulují v relativně malém objemu vzduchové hmoty. (15)

Pro modelování rozptylu znečišťujících látek v ovzduší během inverzních situací byla na ČHMÚ vyvinuta metodika výpočtu ve formě tzv. Box modelu. Tato metodika je ve formě dodatku součástí metodiky SYMOS'97 (16). Jedním z cílů této disertační práce bylo převedení této metodiky do formy počítačového programu, který by celý modelový výpočet realizoval v prostředí GIS a jeho otestování ve zvolené oblasti.

2.5.1. Praktická realizace matematického modelu v GIS

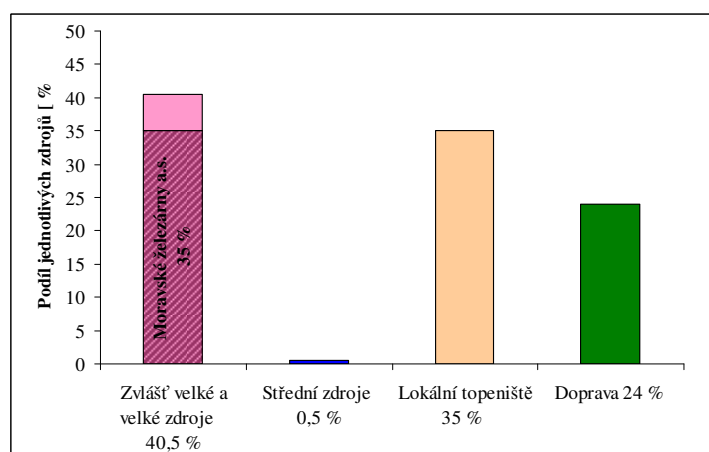
V následujícím textu bude popsán algoritmus výpočtu koncentrací ZL v ovzduší během inverzních situací. Výpočet je realizován v prostředí GIS, konkrétně v software ArcInfo 8.2. Jednotlivé kroky výpočtu jsou naprogramovány ve formě skriptů programovacího jazyka

AML (ArcInfo Macro Language), které umožňují provádět jednotlivé kroky modelování provádět automatizovaně a opakovatelně. Modelování se skládá z:

- Volba tvaru oblasti;
- Tvorba virtuálního uzavřeného údolí ze zvolené oblasti;
- Výpočet koncentrací znečišťujících látek ve výškových vrstvách.

Pokusné modelování bylo prováděno na území města Olomouce pro období 23. – 25.1.2005, kdy byla na tomto území silná teplotní inverze provázená extrémními koncentracemi ZL v ovzduší.

Porovnáním namodelovaných a naměřených hodnot bylo prokázáno, že při vhodném vymezení oblasti modelování je možno využít uvedenou metodiku výpočtu extrémního znečištění ovzduší při inverzích a bezvětří v metodice SYMOS'97, původně určenou pro údolí nebo kotlinu, i pro modelování v rovinatém terénu. Je však velmi důležité správné určení oblasti rozptylu. Oblast musí být dostatečně rozsáhlá, aby zohlednila všechny zdroje znečišťování ovzduší. Zároveň však musí být dostatečně malá, aby nedocházelo k rozptylu znečišťujících látek do příliš velkého objemu vzduchu, aby nebyly namodelované hodnoty podhodnoceny. V metodice je doporučen tvar odpovídající oblasti se zhoršenou kvalitou ovzduší a výsledky modelování potvrzují vhodnost této volby.



Obr. 1: Podíl jednotlivých zdrojů na celkovém znečištění PM₁₀ v Olomouci po 24 hodinách trvání inverzní situace

2.6. Další vývoj modelovacího systému

Vývoj systému ADMoSS je v budoucnosti možný v několika směrech. První možností je jeho testování a úpravy, aby mohl být použit v opravdu rozsáhlých oblastech. V současnosti by měl být ADMoSS použit pro hodnocení kvality ovzduší v oblasti slezské části česko-polského příhraničí (cca 8800 km², 2,5 milionu obyvatel) v rámci projektu Air Silesia (17).

Dalším směrem vývoje, který bude pravděpodobně realizován je změna software pro generování mapových výstupů na ArcGIS. V systému ArcGIS je od verze 10 možné skriptovat tvorbu mapových kompozic v jazyce Python. Výhodami tohoto software jsou oproti ArcInfo for Workstation možnost přímé kontroly průběhu tvorby mapové kompozice v grafickém uživatelském rozhraní, což výrazně zjednodušuje tvorbu vzorové mapové kompozice, dostupnost většího množství funkcí vhodných pro tvorbu mapových kompozic a využití externích datových zdrojů přes webové komunikační protokoly (ArcGIS Online, ArcGIS Server, ArcIMS, WMS, apod.). Jazyk Python je navíc otevřený objektový programovací jazyk s dostupnou širokou škálou předprogramovaných modulů a v poslední době se z něj stává stále více používané rozhraní pro ovládání a automatizování počítačových programů.

Třetím potenciálním směrem vývoje ADMoSS je vytvoření grafického (např. webového) uživatelského rozhraní, které by proces modelování umožnilo provádět i běžným uživatelům

3. Závěr

Matematické modelování rozptylu znečišťujících látek v ovzduší je užitečná metoda pro vyhodnocení kvality ovzduší v zatížených oblastech. Realistické posouzení stavu ovzduší a určení původců znečištění je podmíněno zahrnutím svým charakterem různorodých zdrojů znečišťování ovzduší, zdroje průmyslové i neprůmyslové, zdroje svým vlivem významné lokálně i zdroje významně ovlivňující rozsáhlé oblasti. Je tudíž nutné provádět výpočet detailně, aby bylo možné postihnout zdroje lokálního dosahu, a zároveň modelovat v rozsáhlém území, aby bylo možné postihnout vliv zdrojů ovlivňujících velká území.

Díky kombinaci těchto dvou faktorů a velkému množství zdrojů znečišťování ovzduší v hustě osídleném průmyslovém regionu je matematické modelování rozptylu znečišťujících látek v ovzduší velice náročné na přípravu dat pro modelování a na výpočetní čas.

Cílem práce bylo vyvinout a prakticky odzkoušet modelovací systémy pro hodnocení stavu ovzduší v obou, z hlediska ochrany kvality ovzduší, nejdůležitějších případech – pro krátkodobé extrémně vysoké koncentrace znečišťujících látek v ovzduší a pro nadlimitní dlouhodobé (roční) koncentrace znečišťujících látek v ovzduší. V obou případech se podařilo vytvořit systémy, které v maximální možné míře zjednodušují a automatizují celý proces modelování, počínaje přípravou vstupních dat pro modelování, přes modelování samotné, analýzu výsledků modelování, až po jejich prezentaci.

Tohoto cílem bylo dosaženo využitím synergie kombinace matematických modelů a geografických informačních systémů (GIS). Dominantní složkou této synergie je prostředí software pro GIS, ve kterém lze efektivně a automatizovaně veškeré manipulace s prostorovými daty, která tvoří vstupní i výstupní údaje matematických modelů, které jsou v jednom případě spouštěny jako externí program v rámci GIS a v případě druhém je matematický model přímo realizován formou prostorových analýz a datových manipulací v prostředí GIS.

Dalším cílem práce bylo urychlení výpočtů, které při detailním modelování rozsáhlých oblastí s velkým množstvím zdrojů trvá za běžných okolností na běžném PC řádově dny až týdny. Díky autorem realizovanému postupu, který je založen na rozdělení modelovací úlohy na sadu menších podúloh, specifické volbě výpočtové sítě a paralelním výpočtu na paralelním clusteru bylo dosaženo výrazného urychlení výpočtů. Časová náročnost výpočtů je u úloh středního rozsahu (území cca 15 x 15 km) nižší přibližně o tři řády (1000x). Je snížena z dnů

až týdnů na desítky minut až jednotky hodin. Míra urychlení výpočtu navíc roste úměrně rozsahu modelované oblasti.

Vytvoření, v této práci prezentovaných, modelovacích systémů bylo dáno potřebou při realizaci reálných projektů. Efektivita systému ADMoSS byla ověřena již na více než desítkách velkých projektů a na několika desítkách projektů menšího rozsahu. V současné době je klíčovým prvkem rozsáhlého mezinárodního projektu Air Silesia (17), jehož cílem je vyhodnocení příčin špatné kvality ovzduší v ostravsko-karvinské aglomeraci v ČR a v, k ní přilehlé, rybnicko-raciborské aglomeraci v Polsku a vyhodnocení přeshraničních přenosů znečištění. Plocha modelovaného území je přibližně 8800 km², s více než 2,5 milionem obyvatel.

4. Seznam použité literatury

1. **JANČÍK, P.** *Geoinformační technologie pro řízení kvality ovzduší - habilitační práce.* Ostrava : VŠB-TUO, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, 2003.
2. *Ústavní zákon č. 23/1991 ze 9. ledna 1991, kterým se uvozuje LISTINA ZÁKLADNÍCH PRÁV A SVOBOD jako ústavní zákon Federálního shromáždění České a Slovenské Federativní Republiky.* Praha : Sbírka zákonů České republiky, 1991.
3. *Zákon č. 86/2002 ze dne 14. února 2002, o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů (zákon o ovzduší), v platném znění.* Praha : Sbírka zákonů České republiky, 2002.
4. **JANČÍK, P. aj.** *Místní program zlepšení kvality ovzduší pro město Ostrava.* Ostrava : VŠB-TUO, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Katedra ochrany životního prostředí v průmyslu, 2004.
5. —. *Rozptylová studie pro správní území města Přerova.* Ostrava : VŠB-TUO, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Katedra ochrany životního prostředí v průmyslu, 2004.
6. —. *Rozptylová studie II pro město Opava.* Ostrava : VŠB-TUO, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Katedra ochrany životního prostředí v průmyslu, 2007.
7. —. *Rozptylová studie pro obec s rozšířenou působností Kopřivnice.* Ostrava : VŠB-TUO, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Katedra ochrany životního prostředí v průmyslu, 2006.
8. —. *Systém řízení kvality ovzduší pro město Olomouc, 17 publikací.* Ostrava : VŠB-TUO, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Katedra ochrany životního prostředí v průmyslu, 2005-2010.
9. —. *Modelování rozptylu znečišťujících látek pro Program ke zlepšení kvality ovzduší města Plzně.* Ostrava : VŠB-TUO, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Katedra ochrany životního prostředí v průmyslu, 2007.
10. —. *Rozptylová studie pro Frenštát pod Radhoštěm.* Ostrava : VŠB-TUO, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Katedra ochrany životního prostředí v průmyslu, 2008.
11. —. *Analýza kvality ovzduší pro město Ostrava.* Ostrava : VŠB-TUO, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Katedra ochrany životního prostředí v průmyslu, 2008.
12. —. *Vliv opatření u významných průmyslových zdrojů na kvalitu ovzduší v Moravskoslezském kraji - případová studie.* Ostrava : VŠB-TUO, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Katedra ochrany životního prostředí v průmyslu, 2010.
13. **TZURNAS, CH.** *Vliv plynofikace lokálních topenišť na kvalitu ovzduší v městské zástavbě - diplomová práce.* Ostrava : VŠB-TUO, 2005.
14. Program MEFA. *ATEM - Ateliér ekologických modelů.* [Online] 2006. [Citace: 20. 12 2010.] <http://www.atem.cz/mefa.html>.

15. **BEDNÁŘ, J.** *Meteorologie*. Praha : Portál, 2003. 80-7178-653-5.
16. *SYMOS'97, uživatelská příručka*. místo neznámé : Idea Envi, 2010.
17. Air Silesia. [Online] GIG, 10. 1 2010. [Citace: 20. 12 2010.] <http://www.air-silesia.eu/cz/a762/Dom.html>.

5. Publikace autora

- [1] BITTA J.; PAVLÍKOVÁ I.; BARTUSEK S.; PLATOŠ P. Noise load modeling. In *11th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2011, červen 2011, Albena*. Bulgarian academy of sciences, Sofia, 2011, s. 513 – 516, ISSN: 1314-2704.
- [2] HLADKÝ D.; PUKOVCOVÁ M.; BITTA J.; PLATOŠ P. Project Silesia and his impact on air quality in Ostrava. In *Proceedings of 18th International Student's Day of Metallurgy, 17.-18.3.2011, Leoben*. ASMET, Knittelfeld, 2011, s. 358-361, ISBN: 978-3-200-02155-6.
- [3] JANČÍK, P.; PAVLÍKOVÁ I.; BITTA J.; SKLENÁŘ Z.; BRUŠTÍK M. Vliv omezování emisí u významných průmyslových zdrojů na kvalitu ovzduší v Moravskoslezském kraji. In *PETra 2011 (Pollution and Environment-Treatment of Air). 17. - 20.05.2011, Praha*. Odour s.r.o., Praha, 2011, ISBN 978-80-02-02293-0.
- [4] BEINHAUEROVÁ E.; PAVLÍKOVÁ I.; BITTA J. Testování receptorového modelování na vybraných stanicích imisního monitoringu v Ostravě. In *Životní prostředí hutnictví železa a hutní druhovýroby v roce 2011 : 15.-16. září 2011, Zaječí*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2011, s. 15-20. ISBN 978-80-904354-3-8.
- [5] PAVLÍKOVÁ I.; JANČÍK P.; BITTA J.; HLADKÝ D.; PUKOVCOVÁ M. Air Silesia – Identifikace problémů kvality ovzduší v oblasti a zpracování prostorových digitálních dat. In *Životní prostředí hutnictví železa a hutní druhovýroby v roce 2011 : 15.-16. září 2011, Zaječí*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2011, s. 21-25. ISBN 978-80-904354-3-8.
- [6] JANČÍK, P.; PAVLÍKOVÁ I.; BITTA J. Vliv průmyslu neznečišťování ovzduší suspendovanými částicemi PM₁₀ v Ostravě ve srovnání s ostatními skupinami zdrojů . In *Životní prostředí hutnictví železa a hutní druhovýroby v roce 2009 : 10.-11. září 2009, Dolní Kounice*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2009, s. 25-32. ISBN 978-80-904354-0-7.
- [7] JANČÍK, P.; PAVLÍKOVÁ I.; BITTA J. Analýza kvality ovzduší pro město Ostrava. *Ochrana ovzduší*, roč. 22, č. 5, str. 8-12. ISSN: 1211-0337.
- [8] JANČÍK, P.; PAVLÍKOVÁ I.; BITTA J. Systém řízení kvality ovzduší pro město Olomouc. In *Systém řízení kvality ovzduší ve městě Olomouci. Olomouc, 14. května 2009*. Olomouc : Město Olomouc, Olomoucký kraj, 2009. Nestr.
- [9] JANČÍK, Petr aj. *Systém řízení kvality ovzduší města Olomouce : Aktualizace dat o neprůmyslových zdrojích znečišťování ovzduší pro rok 2007*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Katedra ochrany životního prostředí v průmyslu, prosinec 2008. 35 s.

- [10] JANČÍK, P.; PAVLÍKOVÁ I.; BITTA J. *Analýza kvality ovzduší pro město Ostrava*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Katedra ochrany životního prostředí v průmyslu, listopad 2008. 281 s.
- [11] JANČÍK, P.; PAVLÍKOVÁ I.; BITTA J. Řízení kvality ovzduší pro město Olomouc. In *Ochrana ovzduší ve státní správě IV : Teorie a praxe : 18.-20. listopadu 2008, Brno*. Chrudim : Ekomonitor spol. s r.o., 2008, s. 49-56. ISBN 978-80-86832-39-5.
- [12] JANČÍK, P.; PAVLÍKOVÁ I.; BITTA J. *Rozptylová studie : Frenštát pod Radhoštěm*. Ostrava : SkyLab, září 2008. 168 s.
- [13] JANČÍK, P.; PAVLÍKOVÁ I.; BITTA J.. *Systém řízení kvality ovzduší města Olomouce : Aktualizace dat o neprůmyslových zdrojích znečišťování ovzduší pro rok 2007*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Katedra ochrany životního prostředí v průmyslu, prosinec 2008. 35 s.
- [14] JANČÍK, P.; PAVLÍKOVÁ I.; BITTA J. *Systém řízení kvality ovzduší města Olomouce : Rozptylová studie pro rok 2007*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Katedra ochrany životního prostředí v průmyslu, prosinec 2008. 78 s.
- [15] JANČÍK, P.; PAVLÍKOVÁ I.; BITTA J. *Analýza kvality ovzduší na území města Ostravy : Rozptylová studie*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Katedra ochrany životního prostředí v průmyslu, listopad 2008. 219 s.
- [16] JANČÍK, P.; PAVLÍKOVÁ I.; BITTA J. Řízení kvality ovzduší pro město Olomouc. In *Ochrana ovzduší ve státní správě IV : Teorie a praxe : 18.-20. listopadu 2008, Brno*. Chrudim : Ekomonitor spol. s r.o., 2008, s. 49-56. ISBN 978-80-86832-39-5.
- [17] BITTA, Jan; PAVLÍKOVÁ, Irena. Automatizované generování mapových výstupů v prostředí ArcPlot. In *17. konference GISERSI : 23.-24. října 2008, Praha*. Praha : Arcdata Praha, s.r.o., 2008, s. 47-48. ISBN 978-80-254-3063-7.
- [18] JANČÍK, P.; PAVLÍKOVÁ I.; BITTA J. Vliv zdrojů společnosti ArcelorMittal Ostrava a.s. na imisní situaci v městském obvodu Radvanice a Bartovice. In *Životní prostředí hutnictví železa a hutní druhovýroby v roce 2008 : 11.-12. září 2008, Zaječín*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2008, s. 41-50. ISBN 978-80-284-1817-7.
- [19] BITTA, Jan. *Studijní opora : Geoinformační technologie*. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Katedra ochrany životního prostředí v průmyslu, srpen 2008. 67 s.
- [20] JANČÍK, P.; PAVLÍKOVÁ I.; BITTA J. *Radvanice a Bartovice : Rozptylová studie*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového

- inženýrství, Katedra ochrany životního prostředí v průmyslu, prosinec 2007. 114 s. 2 přílohy.
- [21] JANČÍK, P.; PAVLÍKOVÁ I.; BITTA J. *Tepelný zdroj města Kopřivnice : Rozptylová studie*. Ostrava : SkyLab, prosinec 2007. 49 s.
- [22] JANČÍK, P.; PAVLÍKOVÁ I.; BITTA J. *Modernizace tandemových pecí v Ocelárně ArcelorMittal Ostrava a.s. : Rozptylová studie*. Ostrava : SkyLab, prosinec 2007. 112 s.
- [23] JANČÍK, P.; PAVLÍKOVÁ I.; BITTA J. *Systém řízení kvality ovzduší města Olomouce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Katedra ochrany životního prostředí v průmyslu, prosinec 2007. 34 s.
- [24] JANČÍK, P.; PAVLÍKOVÁ I.; BITTA J. *Modernizace tandemových pecí v Ocelárně ArcelorMittal Ostrava a.s. : Hluková studie*. Ostrava : SkyLab, prosinec 2007. 30 s.
- [25] BITTA, Jan; PAVLÍKOVÁ, Irena. Modelování hlukové zátěže. In *Sborník příspěvků z konference mladých vědeckých pracovníků: Věda a krizové situace : IV. ročník : 23. října 2007, VŠB – TU Ostrava*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 6-10. ISBN 978-80-7385-011-1.
- [26] BITTA, Jan; PAVLÍKOVÁ, Irena. Modelování hlukové zátěže : Modely S-hluk a B-hluk. In *Životní prostředí hutnictví železa a hutní druhovýroby v roce 2007 : 13.-14. září 2007, Loucký klášter ve Znojmě*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 86-90. ISBN 978-80-284-1577-0.
- [27] JANČÍK, P.; PAVLÍKOVÁ I.; BITTA J. *Rozptylová studie : Modelování rozptylu znečišťujících látek pro Program ke zlepšení kvality ovzduší města Plzně*. Ostrava : Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Katedra ochrany životního prostředí v průmyslu, srpen 2007. 102 s.
- [28] BITTA, Jan; PAVLÍKOVÁ, Irena. Modelling of natural gas release during accidents at underground gas storages. In *Neue Werkstoffe, neue Technologien und neue energetische Ressourcen fürs 21. Jahrhundert II. : 29.11-2.12.2006, VŠB – Technická univerzita Ostrava*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2006, s. 7-8. ISBN 80-248-1250-9.
- [29] JANČÍK, P.; PAVLÍKOVÁ I.; BITTA J. *Studie vlivu Průmyslové oblasti v Kopřivnici na kvalitu ovzduší*. Ostrava : Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Katedra ochrany životního prostředí v průmyslu, listopad 2006. 70 s.
- [30] JANČÍK, P.; PAVLÍKOVÁ I.; BITTA J. *Lokalizace bodových stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší v Moravskoslezském kraji*. Ostrava : Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Katedra ochrany životního prostředí v průmyslu, listopad 2006. 5 s.

- [31] BITTA J.; JANČÍK P.; PAVLÍKOVÁ I. Emisní stropy – nástroj pro řízení regionálního rozvoje průmyslu. In *Životní prostředí v hutnictví železa a hutní druhovýroby v roce 2006 : 15.-16. září 2006, Hotel Zámek Čejkovice*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2006, s. 45-50. ISBN 80-248-1155-3.
- [32] JANČÍK, P.; PAVLÍKOVÁ I.; BITTA J. *Rozptylová studie při extrémním znečištění ovzduší pro informační systém kvality ovzduší města Olomouce*. Ostrava : Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Katedra ochrany životního prostředí v průmyslu, srpen 2006. 56 s.
- [33] JANČÍK, P.; PAVLÍKOVÁ I.; BITTA J. *Odborný posudek a rozptylová studie : Město Kopřivnice : Plynová kotelna o výkonu 26MW*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Katedra ochrany životního prostředí v průmyslu, červen 2006. 94 s.
- [34] JANČÍK, P.; PAVLÍKOVÁ I.; BITTA J. *Hluková studie : Město Kopřivnice : Plynová kotelna o výkonu 26MW*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Katedra ochrany životního prostředí v průmyslu, červen 2006. 94 s. 49 s.
- [35] JANČÍK, P.; PAVLÍKOVÁ I.; BITTA J. *Rozptylová studie pro obec s rozšířenou působností Kopřivnice – oxid dusičitý*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Katedra ochrany životního prostředí v průmyslu, březen 2006. 8 s.
- [36] JANČÍK, P.; PAVLÍKOVÁ I.; BITTA J. *Rozptylová studie pro obec s rozšířenou působností Kopřivnice*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Katedra ochrany životního prostředí v průmyslu, březen 2006. 94 s.
- [37] JANČÍK, P.; PAVLÍKOVÁ I.; BITTA J. *Rozptylová studie pro město Opava*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Katedra ochrany životního prostředí v průmyslu, prosinec 2005. 92 s.

